

WindPRO의 예측성능 평가

오현석*, 고경남**, 허종철***

*제주대학교 대학원 기계공학과(seaofjeju@cheju.ac.kr),
**제주대학교 청정에너지실증연구센터(gnkor2@cheju.ac.kr),
***제주대학교 기계공학과(jchuh@cheju.ac.kr)

Evaluation of the Performance on WindPRO Prediction

*Dept. of Mech. Eng, Graduate School, Cheju National University(seaofjeju@cheju.ac.kr),
**Test & Evaluation Research Center for Clean Energy Development, Cheju National
University(gnkor2@cheju.ac.kr),
***Dept. of Mech.Eng, Cheju National University(jchuh@cheju.ac.kr)

Abstract

Using WindPRO that was software for windfarm design developed by EMD from Denmark, wind resources for the western Jeju island were analyzed, and the performance of WindPRO prediction was evaluated in detail. The Hansu site and the Yongdang site that were located in coastal region were selected, and wind data for one year at the two sites were analyzed using WindPRO. As a result, the relative error of the prediction for annual energy production and capacity factor was about $\pm 20\%$. For evaluating wind energy more accurately, it is necessary to obtain lots of wind data and real electric power production data from real windfarm.

Keywords : WindPRO, WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program), 연간 발전량(Annual Energy Production), 와이블 분포(Weibull distribution), 설비 이용률(Capacity Factor)

1. 서론

제주도는 2008년 현재 약 34MW의 풍력발전기가 보급되어 있다. 동부지역은 구좌읍 행원에 약 10MW가 설치되어 있고 서부지역은 한국남부발전의 한경풍력발전단지(21MW)와 제주도청의 풍력발전기(1.7MW)가 한경면 용수리 해안가 일대에 들어서 있다. 제주도

는 2020년까지 제주도 육 해상에 풍력발전기를 500MW 설치한다는 계획을 최근에 발표했다. 따라서 제주도와 인근 해역 전체에 대한 풍력 자원 조사가 선행되어야 하며, 동시에 현재까지 확보된 제주도의 바람데이터를 충분히 활용할 필요도 있다. 그러나 제주 지역 특성상 중산간지역은 곳곳마다 기생화산이 분포하고 있어 복잡지형에 해당하므로, 향후 제주도에

풍력발전단지를 건설하기 위해서는 풍향의 정확한 평가가 필요하고, 이를 통해 보다 더 효율적인 풍력단지설계가 이루어져야 할 것이다.^[1]

풍향 예측과 풍력단지설계를 목적으로 널리 사용되고 있는 프로그램은 덴마크 Risø 연구소의 WASP(Wind Atlas Analysis and Application Program)과 덴마크 EMD사의 WindPRO 등이 있다. WASP은 복잡지형을 지나는 유동장 해석을 위하여 개발된 유한 체적 모델을 이용하며, 사용된 유동이론은 Jackson과 Hunt의 선형이론이다.^{[2][3][4]} WindPRO는 이러한 Risø 연구소의 풍향 예측기술에 의존한 WASP 계산모듈(WASP interface)을 가지고 있으며, 더욱이 Risø 연구소에서 개발한 해석모델을 EMD 사가 수정 보완한 계산모듈(ATLAS)도 포함하고 있다. ATLAS는 진보된 WASP모델과 비교하여 평탄지형을 기준으로 완전한 언덕과 장애물효과를 고려한다.

이 연구에서는 제주도 서부지역에 위치한 한수와 용당 두지역의 바람데이터를 상호예측 비교하고 WindPRO의 두 계산 모듈의 예측성과 국내에서의 WindPRO 적용 가능성을 평가하였다.

2. 연구방법 및 측정 지역

WindPRO의 모듈을 이용한 상호예측은 다음과 같다. METEO를 통해 실측지역의 데이터를 계산하여 비교 기준으로 삼았으며, ATLAS와 WASP interface의 경우 STATGEN을 통해 상대지역의 데이터 이용한 Wind statistics 생성 후 비교지역의 풍황을 예측계산하였다. 즉, 한수사이트 비교 시는 한수 실측데이터를 이용한 한수사이트에서의 METEO결과와 용당 실측데이터를 기초로 Wind statistics를 생성 후 ATLAS와 WASP interface 모듈을 이용한 한수사이트 해석결과를 비교하였다. 용당지역도 한수지역에서와 같은 방법으로 분석하였다.

제주시 한림읍 한수리에 위치한 기상측정탑은 일주도로를 중심으로 상업지구가 들어서 있는 한림읍내에서 그와 인접한 한림항의 북쪽지역 해안가에 있으며 상업지구와는 1~2km 정도 떨어져 있다. 제주시 한경면 용당리에 위치한 기상측정탑은 용당 해안도로변에 위치해 있다. 주변은 짧은 초지와 약 1m의 돌담으로

이루어진 경작지가 있다.

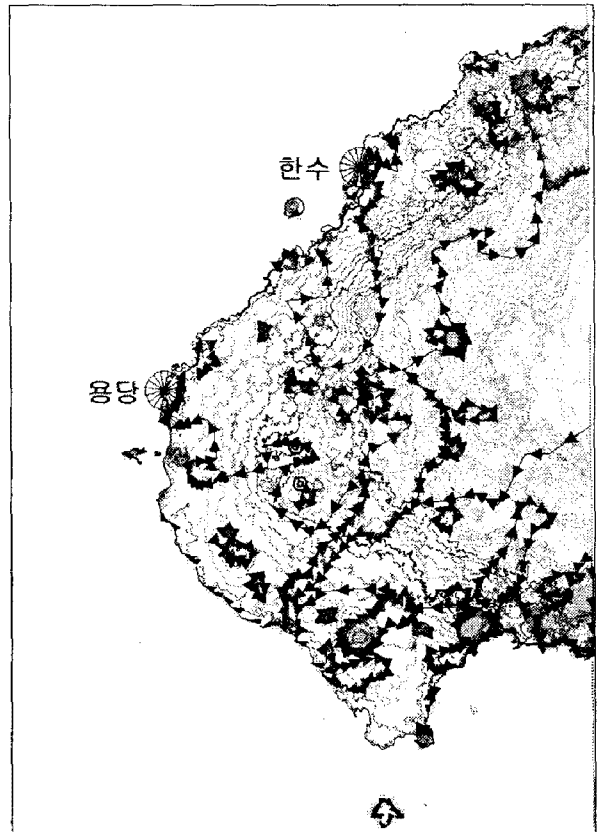


그림 1. 제주도 서부지역 고도-거칠기길이 수치지도

한수지역의 경우, 사용된 바람데이터는 2000년 9월 1일부터 2001년 8월 31일까지의 1시간 평균 데이터를 사용하였다. 용당지역의 바람데이터는 1999년 6월 1일부터 2000년 5월 31일까지의 1시간 평균 데이터를 수거하였지만, 그 중 2000년 1월, 2월 데이터가 누락되어 전년도 데이터를 사용하였다. 두 사이트에서의 측정높이는 지상으로부터 30m, 15m이다.

그림 1은 제주도 서부지역의 축적 1:25,000 수치지도를 mapping 하여 이번 평가에 필요한 해발고도와 거칠기 길이를 입력하였다. 이 지도의 실제사이즈는 27km × 46.5km이며 거칠기길이는 제주시 GIS 위성영상과 WindPRO 매뉴얼의 거칠기길이표를 참고하여 작업하였다. 지표상태는 고도와 상관없이 지역마다 달랐지만 전체적으로 남쪽보다 북쪽의 거칠기길이가 높았다. 구체적인 거칠기길 이로써 바다는 0m, 해안가 0.0024m, 일주도로변 0.03m~0.055m, 중산간

0.03m~0.1m, 산림과 시가지는 0.4m 입력하였다.

3. WindPRO의 계산모듈과 사이트 풍향분석

이번 평가를 위해 사용한 WindPRO의 계산모듈^{[5][6]}은 총 4가지로 METEO, ATLAS, WASP interface, STATGEN이다. 그 중 풍향 계산모듈은 3가지로 METEO, ATLAS, WASP interface이며, 실측데이터를 통계화하는 STATGEN모듈이 따로 존재한다. ATLAS와 WASP interface 계산 시 이 통계화 된 Wind statistics가 필요하며 STATGEN과 WASP interface는 Risø 연구소의 WASP를 이용하여 계산한다.

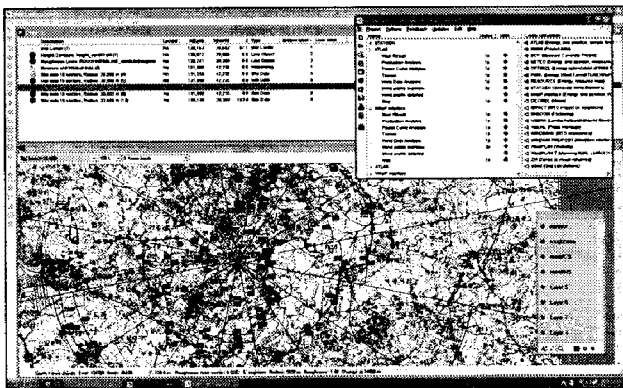


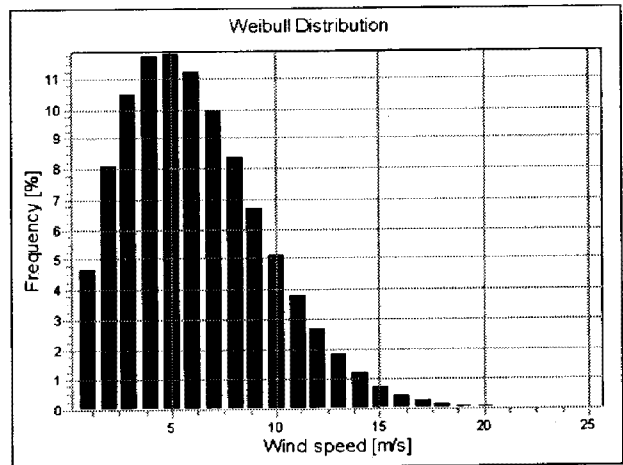
그림 2. WindPRO (Ver 2.5) 작업환경

METEO는 실제 수집데이터를 떡 법칙을 이용하여 높이별 풍속 보정 후 연간에너지를 계산하는 방법으로 수치지도와 Wind statistics가 필요 없어, 발전량을 계산할 때 실제 데이터가 적용되고 데이터 수집 지역 근처에서만 그 값을 신뢰할 수 있다.

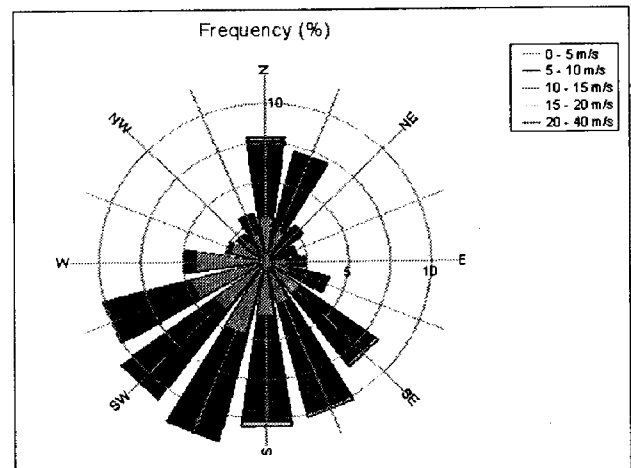
ATLAS는 수집데이터를 통해 생성된 Wind statistics와 거칠기 길이 그리고 해발고도를 이용하여 연간발전량을 계산하는 방법으로 Wind statistics의 통계치를 이용하기 때문에 실제데이터가 필요 없고 대상 지역의 모든 곳에서 그 값을 계산할 수 있다. 그러나 복잡 지형에서는 권장하고 있지 않다.

WASP interface는 ATLAS와 기본적으로 계산조건이 같지만, 해발고도 값을 통해 주변지역의 언덕효과를 자동고려하기 때문에 복잡 지형에 권장된다.

그림 2는 WindPRO의 작업환경으로 기본적으로 왼쪽부터 작업개요창, 계산창, 작업창이 있다.



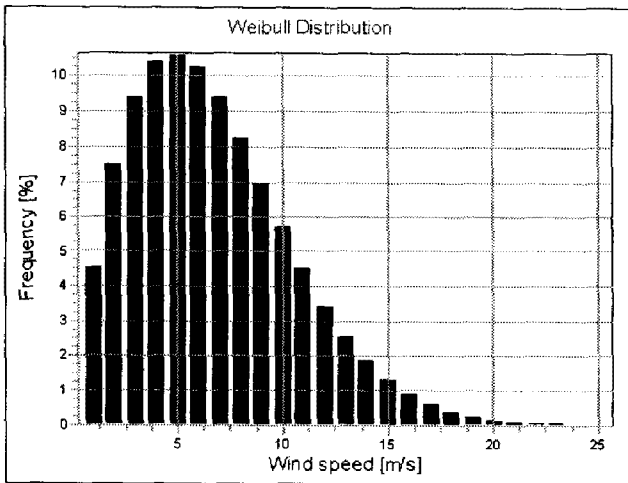
(a) 와이블분포



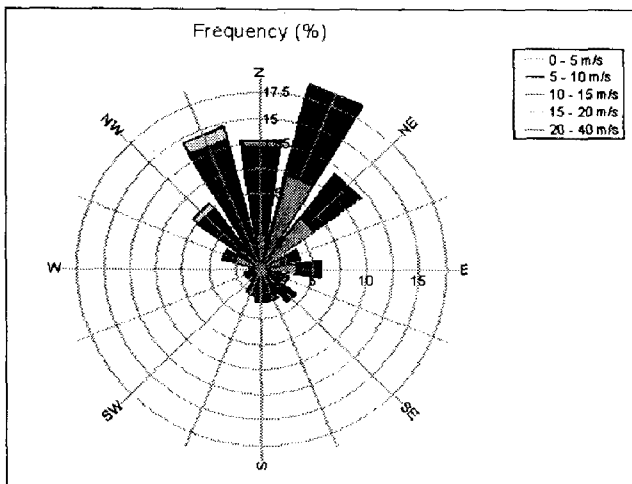
(b) 바람장미

그림 3. 한수지역의 와이블분포와 바람장미

그림 3은 30m에서 측정된 한수의 와이블분포와 바람장미이다. 이 지역은 10m/s 이상의 바람이 약 16% 정도로 높고 대부분의 풍력발전기의 시동풍속인 4m/s미만의 바람은 약 23%이다. 와이블 분포의 A, k값은 각각 6.95m/s, 1.898이고 평균풍속은 6.17m/s이다. 풍향은 남동풍에서 남서풍까지 남쪽방향의 빈도가 높으며 주 풍향으로 5m/s 이상의 바람이 강하게 불고 있음을 알 수 있다.



(a) 와이블분포



(b) 바람장미

그림 4. 용당지역의 와이블분포와 바람장미

그림 4는 30m에서 측정된 용당지역의 와이블분포와 바람장미이다. 전체적으로 한수보다는 풍속이 높은 분포를 보이고 있다. 이 지역은 10m/s 이상의 바람이 약 22% 정도이며 4m/s 이하의 바람은 약 21.5%이다. 와이블분포의 A, k 값은 각각 7.55m/s, 1.806이고 평균 풍속은 6.71m/s이다. 주 풍향은 북북동풍과 북북서풍이며 주 풍향으로 5m/s 이상의 바람이 강하게 불고 있다.

4. 바람 프로파일(Wind profile) 예측결과 비교

바람 프로파일은 높이별 풍속을 나타내며 측정높이를 기준으로 외삽하여 그 이상의 높이에서 풍속을 예측하는데 목적이 있다. 주로 대수법칙과 멱 법칙을 이

용한 외삽방법이 있으며 METEO는 멱 법칙을 이용하여 외삽한다. ATLAS와 WASP interface는 STATGEN에서 생성된 Wind statistics에 의해 고려되기 때문에 WASP 코드에서 사용되는 대수법칙을 이용하고 있다. 즉, 거칠기 길이를 적용하여 바람프로파일을 자동 계산하는 ATLAS와 WASP interface와는 달리 METEO는 멱지수를 직접 입력하거나, 측정된 2개 이상의 높이별 풍속이 있는 경우 이를 이용하여 멱지수를 자동으로 계산하여 예측에 이용된다.

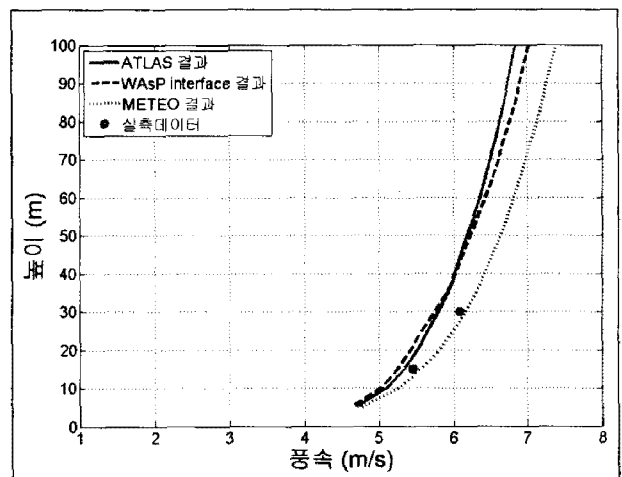


그림 5. 한수지역 바람 프로파일 비교

그림 5는 한수지역의 바람 프로파일이다. 거칠기 길이가 0m인 바다와 그 외의 해안가 0.0024m의 영향으로 전체적으로 그 기울기가 높다. 이 결과 값은 실측데이터 중 30m의 풍속데이터를 이용하여 계산하였으며, 멱지수는 15m와 30m의 데이터를 기초로 자동계산된 것을 이용하였다. METEO 결과와 함께 ATLAS, WASP interface의 상대예측결과가 잘 맞고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 용당지역의 바람 프로파일이며 입력데이터는 한수지역과 동일하다. 이 지역도 해안가에 위치하여 거칠기 길이가 0.0024m임에 반해 METEO의 곡선의 기울기가 완만하다. METEO 결과는 실제데이터를 이용하였기 때문에 높이별 수직 데이터와 근접함을 알 수 있으며 ATLAS와 WASP interface의 상대예측결과는 실측 데이터를 많이 벗어나고 있다. 40m에서는 METEO 결과와 비교 시 약 1m/s 정도 차이가 나고

있어 바람 프로파일 자체가 맞지 않고 있다. 그러나 바람 프로파일의 기울기 정도를 근거로 METEО의 결과보다 ATLAS와 WASP interface의 결과가 보다 신뢰할 수 있을 것으로 판단된다.

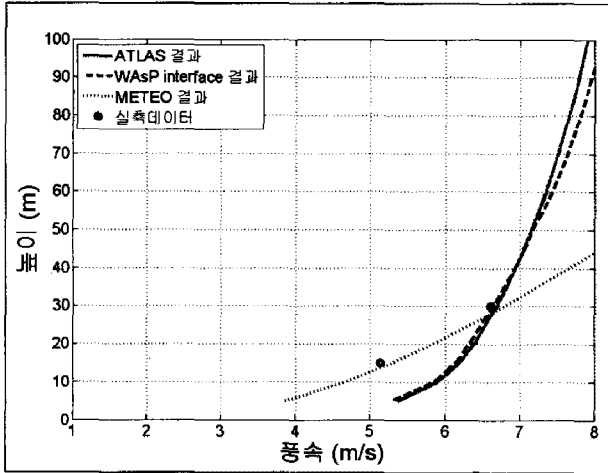


그림 6. 용당지역 바람 프로파일 비교

5. 한수지역의 풍력에너지 예측결과 비교

정격용량 850kW인 VESTAS V-52을 기준으로 하여 각 모듈에서 계산된 결과를 통해 그 발전량과 설비이용률(C.F.)을 비교하였다. 계산높이는 지상에서 50m로 비교기준인 V-52의 허브 높이와 같다. 이 경우에도 서로 상대 Wind statistics를 이용하여 상호 예측성능을 평가하였다. 표 1에서 METEО는 28.2%, ATLAS는 33.2% 그리고 WASP interface는 33.7%의 설비이용률을 보이고 있다. 두 모듈의 연간발전량 AEP 및 C.F.는 -17%~20%의 상대오차를 가지고 있으며 METEО보다 과대평가하고 있음을 알 수 있다.

표 1. 한수지역의 연간에너지 계산결과
- 비교기준 VESTAS V-52(850kW)

	AEP (MWh)	AEP -10% (MWh)	평균 풍속 (m/s)	Power density (W/m ²)	C.F. (%)
METEО	2,103.4	1,893.0	6.6	328	28.2
ATLAS	2,476.4	2,229.0	7.2	456	33.2
상대오차	-17.7%	-17.7%	-9.1%	-39.0%	-17.7
WASP interface	2,508.1	2,257.0	7.3	462	33.7
상대오차	-19.2%	-19.2%	-10.6%	-40.9%	-19.5

6. 용당지역의 풍력에너지 예측결과 비교

한수지역의 예측방법과 동일한 방법으로 용당지역도 풍력에너지를 예측하였다. 표 2에서 METEО는 41.7%, ATLAS는 33.3% 그리고 WASP interface는 33.5%의 설비이용률을 나타내고 있다. 두 모듈의 AEP와 C.F.는 약 +20%의 상대오차를 가지고 있으며 METEО와 비교 시 과소평가하고 있음을 알 수 있다.

표 2. 용당지역의 연간에너지 계산결과
- 비교기준 VESTAS V-52(850kW)

	AEP (MWh)	AEP -10% (MWh)	평균 풍속 (m/s)	Power density (W/m ²)	C.F. (%)
METEО	3,104.7	2,794.0	8.2	639	41.7
ATLAS	2,483.9	2,236.0	7.2	452	33.3
상대오차	20.0%	20.0%	12.2%	29.3%	20.1
WASP interface	2,496.1	2,247.0	7.2	460	33.5
상대오차	19.6%	19.6%	12.2%	28.0%	19.7

7. 결론

WindPRO(ver.2.5) 프로그램을 이용하여 제주도 서부지역의 풍력자원을 분석하였고, 한수지역 및 용수지역에서의 상호간 바람을 예측 비교하였다. WindPRO의 세 가지의 계산 모듈을 사용하여 그 결과를 비교하였을 때, 실측데이터를 사용하는 METEО와 Wind statistics를 사용하여 예측한 ATLAS와 WASP interface의 AEP 및 C.F.값의 결과가 ±20%정도 차이가 있음을 알 수 있었다. 이러한 오차의 원인은 비교평가를 위해 사용된 바람데이터의 수집기간이 상이하고, 2개월간의 누락된 데이터를 전년도 데이터로 보완한 점, 그리고 부정확한 거칠기 길이 설정을 들 수 있을 것이다.

그러나 이 연구에서 ATLAS와 WASP interface의 결과가 비슷하였고, ±20% 정도의 오차범위내에서 연간발전량을 예측할 수 있었던 것은 나름대로 의미가 있다고 생각된다. 향후 실제 풍력발전단지로부터의 발

전량 데이터와 더 많은 바람데이터가 축적된다면 실측 데이터와 예측데이터의 비교를 통해 WindPRO의 국내 적용가능성에 대한 평가가 보다 정확히 이루어질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 고경남, 허종철, 풍력공학입문, 문운당출판사, 2006.
2. 경남호, 윤정은, 장문석, 장동순, 허종철, 복잡지형에서의 WAsP 예측성 평가, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.23, No.1, 2003.
3. 경남호, 윤정은, 장문석, 장동순, 허종철, 복잡지형에서의 WAsP 예측성 향상 연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.23, No.4, 2003.
4. 변수환, 고경남, 허종철, 행원 풍력발전단지 WAsP 적용 및 평가, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.24, No.3, 2004.
5. EMD International A/S, WindPRO 2.5 User Guide, Chapter 3, 1st Edition, 2006
6. EMD International A/S, WindPRO Module Description, p19~26, 2006.